

金属工艺学

第四分册 金属的焊接

(初稿)

天津大学金属工艺学教研室编

人民教育出版社

本书是天津市广播函授大学试用教材，供机械系使用。全套书的内容包括：金属冶炼；金属学与热处理；金属铸造生产；金属压力加工；金属焊接；金属切削与机床等。第一分册“金属冶炼”，第二分册“金属学与热处理”，第三分册“金属的铸造生产及压力加工”均已出版。本书为第四分册，内容为“金属的焊接”，包括：手工电弧焊，自动焊和半自动焊，气电联合焊接法，接触焊，气焊和气割，焊接工艺，焊接接头的质量检验等七章。

本书可作为广播函授大学教学用书，并可供业余大学及自学者参考。

金属工艺学第四分册金属的焊接 (初稿)

天津大学金属工艺学教研室编

人民教育出版社 高等学校教学用书编辑组
北京宣武门内承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业性许可证出字第2号)

人民教育印刷厂印装 新华书店发行

统一书号 15010·939 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 64/1₁

字数 150,000 印数 0001—8,000 定价 (7) 1.75

1960年9月第1版 1960年9月北京第1次印刷

L3:4

目 录

第五篇 金属的焊接

引言	801
§ 1. 焊接发展简史	801
§ 2. 焊接的优越性	805
§ 3. 焊接方法的分类及其本质	808
第一章 手工电弧焊	814
§ 4. 焊接电弧	814
§ 5. 电焊设备	822
§ 6. 光焊条焊接时的物理-化学过程	838
§ 7. 厚药皮焊条焊接时的物理-化学过程	842
§ 8. 金属焊条	847
§ 9. 水下电弧及金属的切割	852
§ 10. 提高生产率的方法	853
第二章 自动焊和半自动焊	857
§ 11. 自动焊的实质和特点	857
§ 12. 自动焊工艺, 设备和焊接材料	859
§ 13. 软管半自动焊	870
§ 14. 电渣焊	873
第三章 气电联合焊接法	877
§ 15. 氩原子焊	878
§ 16. CO ₂ 保护气体焊	880
§ 17. 金属喷镀	883
第四章 接触焊	886
§ 18. 接触焊过程	886
§ 19. 对焊	889
§ 20. 点焊	895
§ 21. 缝焊	905
§ 22. 接触焊的安全技术	909

第五章 气焊和气割	910
§ 23. 气焊、气割所用的气体	911
§ 24. 气焊设备	913
§ 25. 气焊火焰	923
§ 26. 气焊工艺	926
§ 27. 气焊用焊剂	928
§ 28. 加压气焊	929
§ 29. 金属的气割	932
第六章 焊接工艺	939
§ 30. 焊接接头	939
§ 31. 焊接变形与应力	946
§ 32. 钢的焊接	957
§ 33. 硬质合金的堆焊	970
§ 34. 铸铁的焊接	975
§ 35. 有色金属的焊接	982
§ 36. 钎焊	985
第七章 焊接接头的质量检验	992
§ 37. 焊接接头的缺陷及其发生的原因	992
§ 38. 焊缝的磁力检验法	993
§ 39. 焊缝的X射线检验法	997
§ 40. 焊缝的超声波检验法	998

第五篇 金屬的焊接

引 言

§1. 焊接发展簡史

焊接的发明与发展是与人类长期以来和自然界所进行的斗争分不开的,由于人类社会不断进步,生产力不断提高而使焊接也逐渐完善起来。劳动创造世界的真理在焊接科学领域中也有着它深远的意义。

我国是具有悠久文化的古老的國家之一,对人类的进步有着光輝灿烂的贡献,是世界文明的先驅者和奠基者。在焊接科学的领域中也有着卓越的成就。我們祖先在四千多年以前,铁器时代的初期就已经知道了利用加热和鍛打的办法,把两块铁連結在一起,即所謂鍛焊。約在7世紀,中国的唐朝时代就已应用了钎焊(主要是錫焊、銀焊等,这种焊接方法在欧洲一直到17世紀才被应用)。但在已往很长的时期中,由于中国长期受封建腐敗的統治,这些先进的方法并未得到充分的发展。

解放前,可以說国内没有什么焊接事业。工厂中只是停留在修理的水平,沒有專門的工厂从事焊接設備的生产,焊条焊药也根本不能制造,更沒有一所学校专门培养焊接方面的技术干部。

一直到解放以后,才从根本上改变了这种局面。焊接事业的发展速度是非常惊人的。首先在焊接技术干部培养方面,于1951年在哈尔滨工业大学和天津大学成立了焊接教研室,其后在其他高等工业学校和中等技术专业学校也相继成立了焊接专业。此

外，在工厂中也大力地培养焊工，每年全国各地培养出数以千计的焊接工人参加社会主义建设。

在生产上，焊接已经得到愈来愈广泛的应用。目前在造船和起重机方面已全部采用焊接；机车车辆、锅炉、油罐、管道、金属结构、汽车、飞机、拖拉机等也都广泛地采用焊接。在电渣焊的应用方面，1958年我国已取得很大的成就。在化大为小、并小成大的方针指导下，用电渣焊的方法已解决了不少关键性的问题。

在焊接设备、焊条、焊药的生产方面，都有了很大的发展。我国已能大量生产各种仿苏型号的焊接设备，其中包括手弧焊设备、自动焊机及部分接触焊机。最近又成批生产了电渣焊机及其他各种新型的焊接设备。这些设备无论在质量和性能各方面，都能符合生产上的要求。目前，我们已完全能用本国材料制出高质量的焊条焊药，供应全国的需要。应当指出，虽然在这些方面都有了很快的发展，但是无论就其品种方面和产量方面都还落后于生产实际的需要，因此还需要作进一步的努力。

由此可见，我国的焊接科学，虽然发展得较晚，但发展的速度确是惊人的；特别是从1958年以来，群众大闹技术革命，发挥了敢想敢干的创造精神，各种先进的焊接工艺不断地在全国各地得到推广和应用。毫无疑问，在党的总路线的光辉照耀下，在苏联及各兄弟国家的无私援助下，我国焊接科学的技术水平将会得到更进一步的发展。

在国外，焊接同样也是随着人类社会不断进步，生产力不断提高而逐渐完善起来。

1802年俄国科学院院士B. B. 彼得洛夫(Петров)在实验室里首先发现了电弧现象，这给焊接科学开辟了一个新的纪元。80年后，即1882年俄国工程师H. H. 别纳尔多斯(Бенардос)发明了以炭棒为电极的炭弧焊。不仅如此，他还发明了其他许多焊接方法，

如 1885 年他发明了氩弧焊 (是气体下保护焊接的开始), 1887 年发明了接触焊中的点焊。此外, 他还設計和制造了世界上第一台炭弧自动焊机。

1888 年俄国著名的冶金工程师 H. Г. 斯拉維亞諾夫 (Славинов) 发明了以金属棒代替炭棒的电弧焊接, 这种方法直到目前仍为工业上采用最为广泛的一种焊接方法。斯拉維亞諾夫在焊接冶金方面进行了許多工作, 他提出用“碎玻璃”(即焊药)撒在熔池金属的表面上, 以便提高焊接的质量, 实质上就是目前自动焊所用的焊药。他也設計了一种自动焊机, 他称作为“熔鑄器”。因此应该說斯拉維亞諾夫是现代焊接冶金的奠基人, 是埋弧自动焊的創始者。

虽然当时这些先进的焊接方法被人們发明和发展了, 但是落后的沙皇俄国, 并未能充分利用这一科学成就。

焊接真正成为一門科学并得到飞跃的发展还是近 30 年的事情。苏联在焊接技术方面, 一直是以飞快的速度不断地前进。

苏联的党和政府对焊接事业的发展給以极大的关怀。早在 1924 年便成立了专门生产各种电焊设备的工厂——“电工”工厂, 在 1929 年相繼成立了中央工艺及机械制造科学研究院的焊接部和乌克兰巴頓电焊研究所。此外, 也在很多高等工业学校中設立了焊接专业或焊接系。

为了更决地发展焊接事业, 苏联的党和政府还采取了一系列的措施, 如 1932 年苏共党的十七次代表大会會規定了某些連接工作必須采用焊接。随后又大力推广自动焊在生产中的应用, 而最近几年正在进行电渣焊和碳弧气下焊接的普及工作。不久前, 根据苏共 21 次党代表大会的指示, 要在今后的七年内大力发展焊接方面的机械化和自动化。目前在造船工业中, 苏联已有 80% 是采用自动焊接。1957 年苏联应用自动焊焊接了欧洲最大的輸气管。

道，直徑 720 毫米，全長 1200 公里。此外還焊接了世界上最大的巨型電鏟，這種電鏟每次掘土量為 25 米³，僅用焊條的數量就達 20 多噸。

在電渣焊方面，蘇聯已有 30 多個工廠正在應用和推廣，它已經有效地把各種巨大的鍛件和鑄件連接起來，在實際應用上焊接厚度已達 2 米以上。在接觸焊方面也得到了飛躍的發展。汽車工業、飛機工業中廣泛應用多點焊和縫焊，各種管子、容器也大量採用接觸焊進行生產。在火焰加工方面，各種新設備及新工藝不斷出現，如最近研究出的示踪仿形切割已投入生產，加壓氣焊、氧熔劑切割已愈來愈普遍地採用，並大部分都已自動化。

在蘇聯，焊接科學隨着焊接生產技術的發展而不斷地發展着。

在蘇聯，很多焊接工作者在焊接過程理論方面作出了很多貢獻。蘇聯已研究出在電弧中所發生的現象，創造了合理地設計焊接機器和焊接設備的理論。焊接時熱過程的理論已探討出來，對於金屬加熱和冷卻過程的規律性，金屬組織的改變和相變以及最有效的焊接規範等問題都已有詳細的研究。

總之，現在無論就焊接的應用範圍及技術的完善程度上說，蘇聯都占首要地位。在建立世界最新的焊接技術工作上，蘇聯的科學工作者、工程師、斯達漢諾夫焊工，都曾經作出並將繼續作出極卓越的貢獻。

近十年來，焊接科學在世界各國都有很大的發展，在國際合作方面已大大地加強。1948 年在比利時首都布魯塞爾成立了國際焊接學會，以後又相繼開了多次國際焊接會議，這對焊接技術的交流 and 發展起了一定的作用。

近年來在焊接工藝及設備方面有了新的發展，如超聲波焊接、二氧化碳加磁性焊藥保護的焊接，以及摩擦焊及冷焊等都在不斷地完善和應用於生產。

§ 2. 焊接的优越性

随着现代工业的发展，焊接已成为机械制造业中的重要加工方法之一。这是因为在各种结构的生产中，它和铸、铆等加工方法比较起来具有以下优点：

节省金属 采用焊接的方法制造金属结构可以大大节省金属，图 1 所示仅是最简单的接头形式。在其他比较复杂的接头形式中，焊接结构可以不用增加制件重量的辅助构件来实现焊接。因此，由于焊接结构的简化，使整个结构的重量随之减轻，因而大大节省了金属。尤其是在机械制造工艺方面，自焊接工艺发展以

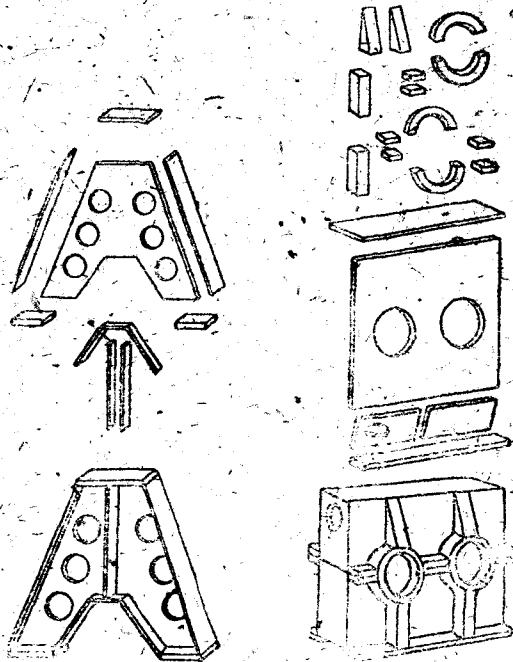


图 592. 用型钢和钢板焊成的工件。

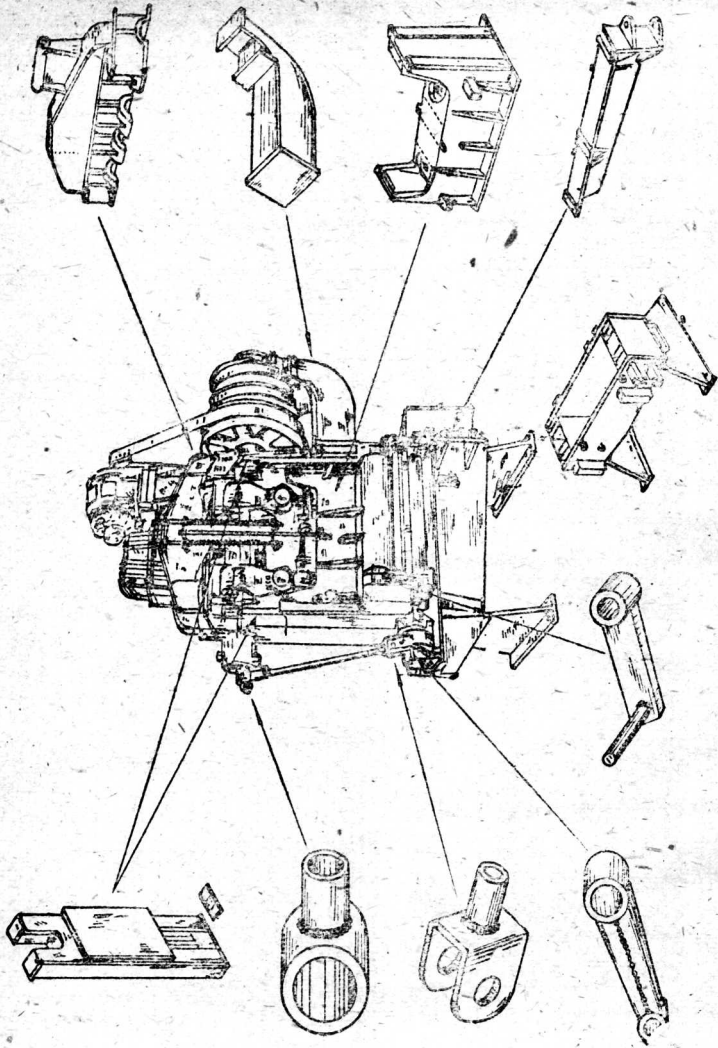


图 593. 用焊接结构制成的压力机。

后，多采用型钢、铸件和锻件焊接组合结构，这样与以前完全用铸件和锻件机械组合结构比较起来，不但加工方便和容易，而且更大大降低了制造成本。图 592 表示用型钢和钢板焊接结构的工作。用焊接结构方式制成的压力机(图 593)比完全用大铸锻件结构制成的可以减轻重量 1700 公斤(原重 3000 公斤)。图 594 表示用焊接结构制成的夹具，用这种结构可以节省成本 20—30%。

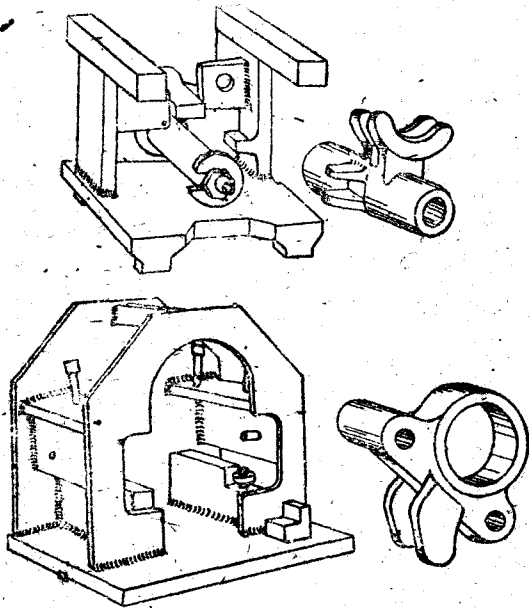


图 594. 用焊接结构制成的夹具。

生产率高 在焊接结构的生产中，金属加工的工序比铆接少；并且工序也很简单，不象铆接那样，既要钻铆钉孔，又要打铆钉。显然这可以加快生产的速度。特别是自动焊、接触焊以及电渣焊等方法的广泛采用，大大地提高了劳动生产率。同时由于机械化和自动化程度的不断提高，也大量节省了人工劳动。我国近年来在造船工业上发展很快，其主要原因之一就是由于过去的连接工作

中10%的焊接量提高到80—90%。

焊接質量高 在实际生产中証明，焊接接头可以达到很高的質量。在某些情况下，焊缝金属的性能比基本金属的性能还好。特别是在貯器、鍋炉、油罐車、管道以及造船的生产中，焊缝的紧密度和气密性具有重大的意义，这是铆釘接縫無論如何也不能胜过的。

此外，焊接設備較铆接車間和鑄造車間的設備簡單，价格低廉。不仅使冲床、钻床大大减少，而且根本不需要冲天炉和砂箱等設備。

由上可知，焊接是一种多快好省的金屬加工方法。由于具有以上优点，使它在各种机器制造、建筑結構生产及船舶制造中占有不可动摇的地位。在运输机械制造中，焊接几乎全部代替了铆接；因为在运输机械制造中車輛和船舶重量的減輕，就提高了載重量和船舶或車輛本身重量間的比例，这在使用上有很大的好处。由于焊接具有上述一系列优点，并且已經在国民經济的各个部門里得到了广泛的应用。所以即使是非焊接专业的机械制造、压力加工、鑄造生产、金相热处理等专业的学生也有必要掌握这門科学技术，以便在今后的工作中很好地加以应用。

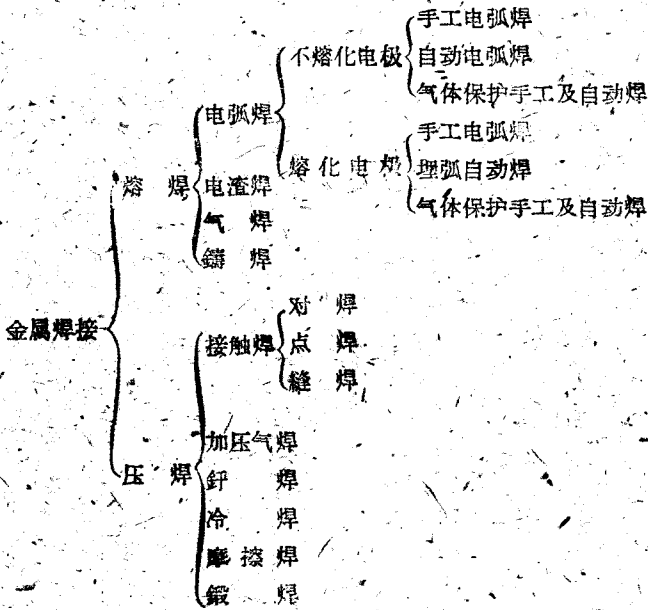
应当指出：焊接虽然已具有上述优点，但它并不能够也不可能完全代替其他的加工方法。对于一些形状复杂、精確度要求較高的零件，仍然要用其他的加工方法来完成。因此，在学完全部的金屬工艺学的課程后，就可以全面地、初步地了解并掌握机械制造业中的每一种加工方法。

§ 3. 焊接方法的分类及其本質

不仅金屬能焊接，就是非金属的塑料也能焊接。但工业上还是以焊接金屬为主。因此本課程只討論金屬的焊接問題。

将两块分离的固体材料加热或不加热, 加压或不加热; 利用原子间力及分子间力的联系作用和扩散作用, 而得到一个不可分离的接头, 这种过程就称为焊接。

焊接的种类很多, 特别是近年来焊接得到了很大的发展, 很多新的焊接方法不断出现, 如电渣焊、碳酸气下焊接、摩擦焊以及冷焊和超声波焊接等。因此, 焊接分类可以从不同的角度来加以划分。下面按熔焊和压焊进行分类, 仅作参考。



现在按上述分类把几个基本的焊接方法加以简单的说明。

熔焊

熔化电极手工电弧焊

这是目前应用最广泛的焊接方法, 如图 595 所示。工件 1, 焊条 2, 焊钳 4 及导线 5 构成一个回路而产生电弧 3, 即发生焊接过程, 若电极为金属丝时, 则为提高焊接质量而在金属丝上涂上一层

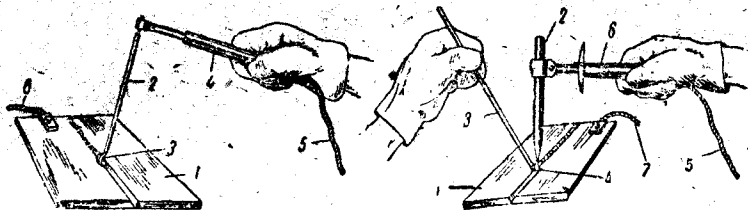


图 595. 熔化电极手工电弧焊。

图 596. 不熔化电极手工电弧焊。

特殊的药皮,这种金属极我们称作焊条。

这种方法的电源可用直流,亦可用交流。如果用直流电源时,可有两种接法:正接——焊条接电源的阴极,工件接阳极;反接则相反,焊条接阳极,而工件接阴极。

不熔化电极手工电弧焊

不熔化电极的手工焊主要是指碳弧焊而言。如图 596 所示,1 为工件,2 为碳极,因碳极不熔化,则必须要有填充金属 3,经过导线 5,焊钳 6,碳极 2,工件 1 及接工件的导线 7 构成一个电路回路,于是即产生电弧,发生焊接过程。

这过程方法的特点是只能采用直流电正接,即工件是阳极,而电极是阴极。碳弧焊在目前已很少应用。主要应用于焊接铜、铝及其合金,和堆焊方面。

气焊

19 世纪的末叶就已经发明了气焊。这种焊接方法虽然在某些方面已被电弧焊所代替,但在薄板以及有色金属的焊接中仍占有一定的地位。

如图 597 所示,1 为工件,2 为焊接火焰,3 为焊炬,4 为填充金属。在焊炬中通入氧气及某种可燃气体,如乙炔等。这两种气体混合燃烧,即可产生很高温度的火焰。于是工件被加热至局部熔化状态而互相连接起来。

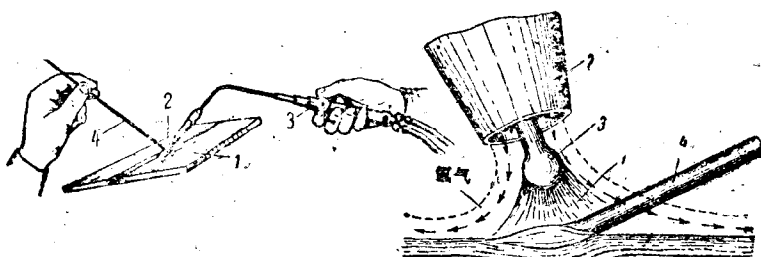


图 597. 气焊。

图 598. 氩弧焊。

氩弧焊

这种焊接方法是使用一个钨极(图 598), 电弧是产生在钨极与工件之间, 用氩气(或氦气)来保护熔池, 使不受氧化。氩气经过喇叭管 2 通往熔焊电弧的燃烧处 1, 钨丝电极 3 装于管 2 中部, 焊条 4 伸入电弧, 熔化后填充焊缝。

这种焊接方法的优点很多, 主要是焊缝质量高, 工件变形小。适用于焊接铝镁及其合金等。也适用于焊接不锈钢及合金钢制的薄板结构及管子, 一般在航空工业上应用较多。其主要缺点是成本高。

碳酸气(CO₂)保护气体焊接

碳酸气下焊接是近年来在焊接技术方面一项新的成就。在过去认为 CO₂ 不可能用来保护熔池和熔滴金属, 因为 CO₂ 在高温分解时有氧化作用。但在近年来世界各国在这方面进行了大量的研究工作, 经过了一系列的探讨和试验以后, 到目前为止已经解决了 CO₂ 保护气体焊接时的主要问题——氧化性强的问题。从而肯定了 CO₂ 作为保护气体的可能性。

电渣焊

电渣焊是利用电流通过液态熔渣所产生的电阻热作为热源。其过程如图 599 所示。

由两个垂直立放的工件 1 及滑块 2 (擋渣及冷却用) 所形成的空间中造成一个液体渣池 3, 向这个渣池中送入一个或多个金属焊丝 4。当电流通过基本金属及焊丝时, 便把渣池加热到很高温度, 焊丝和基本金属靠液态熔渣所析出的热量而熔化。熔化了的焊丝及基本金属集聚在渣池的下面而形成金属熔池 5。金属熔池凝固之后便形成了焊缝。这样就把两块金属联结成为一个整体。这种方法可以焊很厚的工件, 对进一步推进焊接事业的发展起了巨大的作用。

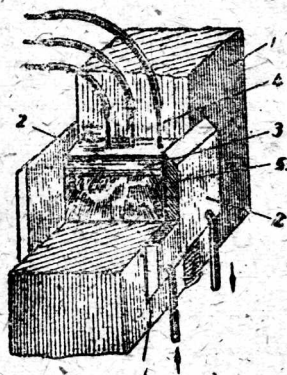


图 599. 电渣焊。

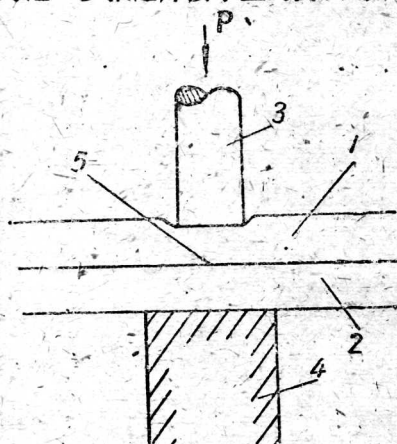


图 600. 冷焊示意图。

压焊

在压焊方面主要有接触焊, 锻焊, 钎焊, 冷焊以及摩擦焊, 此外还有加压气焊。

接触焊 这种方法的原理是使电流通过工件, 将金属加热。同时在焊接过程中施以压力, 使两个工件连接起来的一种方法。接触焊可以分为下面几种: 对焊、点焊和缝焊。

冷焊

冷焊最大的特点是不用电, 其原理如图 600 所示。两个被焊工件 1 及 2 的接触面经过仔细除锈打光之后, 置于压力机两个压头

3及4之間。在常温下加一定压力 P 之后,在被压金属的表面上即发生原子扩散现象。同时机械能转变为热能,即造成形成焊接接头的有利条件,于是在5处即形成焊接接头。这种方法可以焊接铜、铝等有色金属。

摩擦焊

按其性质来讲,实质上与电阻接触焊一样,只是加热方法不同。其焊接工艺主要可分为以下两个过程(图 601):

1. 加热过程;

利用摩擦生热的原理,使金属接触顶锻,开始熔化为止。

2. 加压过程;

包括瞬间的加压及顶锻保持时间的加压。这种方法与电阻接触焊比较有以下几个优点:

- 1) 利用机械摩擦方法来供给热量,从而节省了大量电能。
- 2) 焊机的构造简单,制造成本比普通接触焊机便宜得多。
- 3) 工件在焊前不需要任何准备,如除锈,磨光等。
- 4) 可焊接各种不同的金属,同时也可焊接两种完全不同的金属,组成焊接接头。

这种焊接方法多用于铜、铝及钢棒等的焊接,生产率很高。我国在1957年已由冶金工业部研究成功。

加压气焊

在形式上也与接触焊的对焊相似(图 602)。只是热源不是电能,而是气体火焰的化学能。由图中可以看出,不是一个火焰,而是一个环形的多火焰焊炬(按工件的外形,火焰的形式可有多种多样)。火焰可以在工件的端面加热,也可侧面加热,一般焊接管子是



图 601. 摩擦焊。

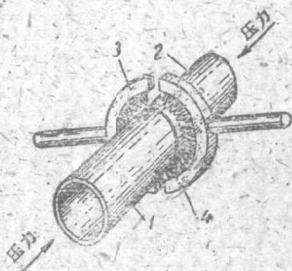


图 602. 加压气焊。